

轨道交通列车音频环路乘客助听系统应用研究

尹崇宏¹ 贾涛¹ 刘迪² 杜志强¹ 霍长凡¹ 李志¹

(1. 中车青岛四方车辆研究所有限公司, 266031, 青岛;

2. 中车长春轨道客车股份有限公司, 130062, 长春//第一作者, 工程师)

摘要 为提高助听器使用者收听语言的清晰度, 助听系统被广泛应用在包括轨道交通列车在内的各种公共场合。目前应用最广泛的助听系统为音频感应环路系统, 其基本原理是利用感应线圈环路为覆盖区域内的助听器提供磁场信号, 再通过助听器中的 T 型线圈将磁场信号转换得到声音信号。介绍了音频感应环路系统在轨道交通列车中的应用情况, 并针对轨道交通列车实际情况, 对助听系统设计布置中的车体结构、金属干扰、功率匹配等影响因素进行了研究。介绍了轨道交通列车乘客助听系统的测试标准和测试方法。

关键词 轨道交通; 乘客助听系统; 音频感应环路; 乘客信息系统

中图分类号 U270.38⁺2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.09.038

Study on the Application of Audio Induction Loop Assistive Listening System in Urban Rail Transit

YIN Chonghong, JIA Tao, LIU Di, DU Zhiqiang, HUO Changfan, LI Zhi

Abstract In order to improve the speech clarity of assistive listening device users, assistive listening system is widely applied in various public places, including rail transit vehicles. At present, the most widely used assistive listening system is audio induction loop system, of which the basic principle is to use the induction loop to provide magnetic field for assistive listening devices in covered area, and then assistive listening devices can convert the magnetic field signal through the T-switch coil to obtain sound signal. Application of audio induction loop system in rail transit trains is introduced. Targeting the actual situation of rail transit trains, study on vehicle structure, metal interference loss, power matching and other issues of assistive listening system design layout is carried out. Reference standards and testing methods of rail transit train assistive listening system are introduced.

Key words rail transit; assistive listening system; audio induction loop; PIS (passenger information system)

First-author's address CRRC Qingdao Sifang Rolling

Stock Research Institute Co., Ltd., 266031, Qingdao, China

助听系统作为一种为听障人士提供听力辅助的公共系统, 已经在发达国家得到广泛应用。

对于助听系统的应用, 国内学者开展了较为丰富的研究工作。文献[3]研究了助听器的基本结构、类型特征和声学处理技术, 并对助听器的实际运用场景进行了分析。文献[4]对目前助听器涉及的算法进行了研究, 依据目前主流数字助听器的系统结构, 从响度补偿、噪声抑制和回声消除等几个方面总结了近年来国内外相关算法的研究和实现方案。文献[5]研究了一种新的非线性响度补偿方法, 并分析了该方法对提高语音响度和改善听损患者的言语识别率的效果。不难发现, 目前国内对于助听系统的研究侧重于助听器本身硬件和相关算法, 对于助听系统在空间内的布置、助听效果评估等问题缺乏系统研究。

国外目前对于助听系统的研究基本涵盖了各类场景和系统的空间交互。文献[6]基于教室模型研究了音频感应环路系统、FM 调频系统和声场放大系统等 3 种不同形式的助听系统的优劣势。文献[7]研究了专门针对老年人群体的助听设备技术特征。文献[8]基于信噪比、混响等指标研究了通过 FM 调频、红外线、感应回路和其他无线传输的助听技术, 并就专用射频传输技术在数字无线助听器中的应用做了研究和介绍。

近年来, 助听系统也开始被尝试应用在轨道交通列车中。目前常见的助听系统有音频感应环路助听系统、调频广播助听系统和红外助听系统。相对后两者, 音频感应环路助听系统凭借优秀的助听效果和对隐私性的保护占据了主流的助听市场。轨道交通列车的乘客助听系统主要由音频感应环路驱动器和感应线圈两部分组成。音频感应环路驱动器从音频放大器中接受音频输入, 将接

受到的模拟信号转化为电磁信号,并通过电磁感应线圈覆盖到客室内。佩戴助听耳机的听障乘客,则通过助听接收器将辐射到客室内的电磁信号转化为声音信号,收听到和客室内广播系统同步的音频信息。

本文将首先概括介绍轨道交通列车乘客助听系统的基本原理,然后依据 AS 1428.5^[1]、IEC 60118-4^[2]等相关标准要求的技术项点和指标研究音频感应环路系统在车内的选型与布置方案,并分析不同方案下环路产生的磁场及相应的助听效果,最后介绍了相关测试方法。

1 轨道交通列车乘客助听系统的基本原理

1.1 安培定则与电磁感应定律

音频感应环路系统通过音频感应环路驱动器在感应线圈中产生变化的电流,进而在客室空间内产生感应磁场(见图1)。感应环路系统依据的基本原理是静磁学的基本定律——安培定律,即载流导线所载有的电流与磁场沿着环绕导线的闭合回路的路径积分,两者之间的关系为:

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I_{enc} \quad (1)$$

式中:

C ——环绕着导线的闭合回路;

B ——磁感应强度;

μ_0 ——磁常数;

I_{enc} ——闭合回路 C 所围住的电流。

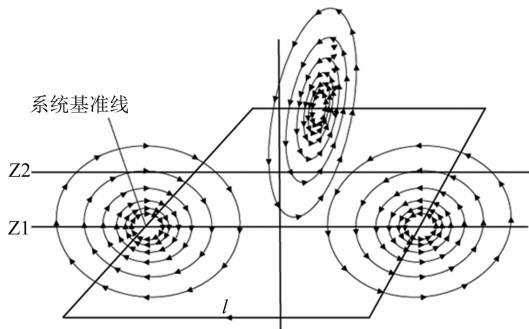


图1 音频感应环路磁场示意图

环绕线圈在客室空间内产生感应磁场后,客室内佩戴助听器的乘客通过切换至助听器“T档”(“T”表示电磁感应输入方式),助听器内部的感应线圈切割磁场中的磁力线产生电流,拾取周围特定频率的电磁信号并将其转换成电信号。该过程中依据的基本原理为电磁感应定律,其表述为:任何

封闭电路中感应电动势的大小,等于穿过这一电路磁通量的变化率,即

$$\varepsilon = -d\Phi_B/dt \quad (2)$$

式中:

ε ——电动势;

Φ_B ——通过电路的磁通量。

式(2)中的负号表示电动势的方向,由楞次定律提供。

1.2 磁场屏蔽

磁场屏蔽是指当磁导率不同的两种介质同时处于磁场中时,在它们的交界面处,磁感应强度 B 的大小和方向都要发生变化,即引起了磁感线的折射。以常见的空气、金属两种介质为例,当通电线圈所处的空间内有金属时,金属会导致磁感线对法线的偏离,并且产生强烈的汇聚作用,从而形成一定程度的磁屏蔽。

具体到轨道交通列车助听系统,由于音频感应环路线圈通常布置在车体内部,故客室空间内的各类金属材料会对车内磁场产生一定的屏蔽影响,从而削弱环路线圈在客室内产生的磁场强度。为解决磁场屏蔽问题,通常需要在助听系统设计之初考虑音频感应环路驱动器的功率补偿。

2 轨道交通列车乘客助听系统方案研究

国内目前已投入运营的轨道交通列车中,尚无安装乘客助听系统的先例,也暂无标准可循。在近年来国外的轨道交通项目中,助听系统已经成为 PIS(乘客信息系统)常见的配置要求。除实现基本功能外,相关项目多参考 IEC 60118-4、AS 1428.5 等相关标准,针对乘客助听系统的功能,提出具体的性能指标。相关标准以及技术条件对于助听系统的技术要求主要集中在与广播系统的同步性、客室内的覆盖范围,以及覆盖区域内的场强、信噪比、频率响应、失真等技术指标。

对于车载助听系统的设计,首先需要确定符合技术要求的助听覆盖区域。依据 IEC 60118-4 标准,要求至少覆盖客室内 50% 以上区域。由于覆盖区域的场强大小直接由环路电流决定,而感应环路线圈的电流由音频感应环路驱动器驱动,故车载助听系统的设备选型首先要依据覆盖区域的大小、形状,决定音频感应环路驱动器的输出功率。图2为不同形状区域下助听驱动电流大小比较。

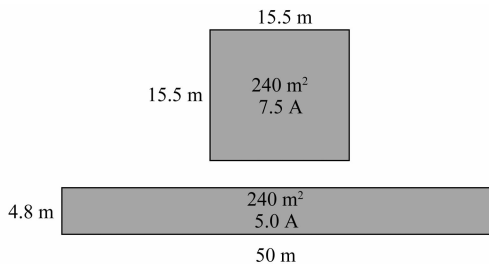
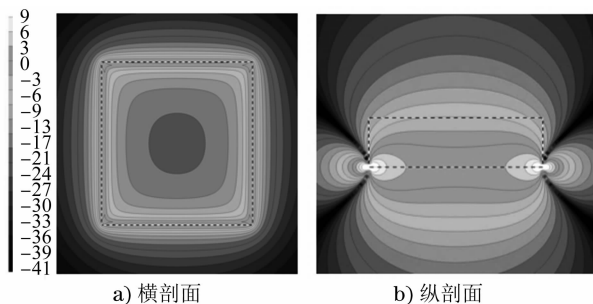


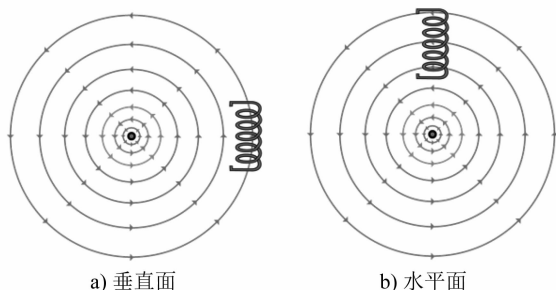
图2 不同形状区域下助听驱动电流大小比较

以图2为例,两个区域的覆盖面积均为 240 m^2 ,但是为实现同样磁场强度覆盖,正方形区域即需要更大的输出电流。这是因为相对于方形区域,正方形区域的中心位置距环路线圈较远,磁场强度衰减更严重。当电流大小确定后,音频感应环路驱动器的输出电压由环路线圈的长度和类型决定。对于轨道交通列车,车内区域更接近于长方形区域。

除覆盖区域形状外,车载助听系统的设备选型还需要考虑车内金属框架等结构对磁场的屏蔽影响。对于磁屏蔽影响,通常需要进行相应的仿真计算分析,从而折算磁通量的损失比例。以图3为例,评估分析了方形助听环路线圈产生的磁场以及车身内装板对磁场的影响。从图3中可以看出,由于车身内装板的影响,车内乘客空间的磁感线密度较正常开阔空间的小,内装金属板对磁场起到了一定的磁屏蔽效果。另外,客室内的扶手等金属材料同样也会对磁场产生影响,金属周围的磁场强度会发生剧烈的变化,影响助听收听效果。

图3 磁屏蔽下的环路线圈磁场仿真示意图
(场强参考基准: -400 mA/m)

音频环路线圈需要布置在与客室内乘客座椅垂直的方向。如图4所示:当感应环路产生磁场与助听器接收线圈在垂直面内时,助听器线圈可以接收100%的磁通量;而当感应环路产生磁场与助听器接收线圈在水平面内时,助听器线圈则根本无法接收磁通量。

图4 感应环路产生磁场与助听器接收线圈
相对位置示意图

如图5所示,当两根通电导线构成环路时,在两根导线中间区域的磁感线具有相同的方向,即回路中的信号为两根导线在此处产生场强的叠加。在两根导线所处水平面内的区域,垂直场分量梯度非常大,特别是在靠近导线的位置,磁场强度会急剧增大,从而带来助听器接受信号的突变。综合考虑空间内的磁场情况,可以确定音频感应环路最佳听力面的位置。在此听力面内,垂直听力面的磁场强度大小基本保持一致,乘客收听感受良好。由于最佳听力面的高度是固定的,一般情况下即坐姿人耳高度,因此音频感应环路线圈的最佳布置位置应与最佳听力面有一定高度差(一般为 0.2 m)。由于客室内立区测点高度设定为 1.2 m ,站立区测点高度设定为 1.7 m ,综合考虑,线圈高度在 1.4 m 左右高度时可提供最佳效果。

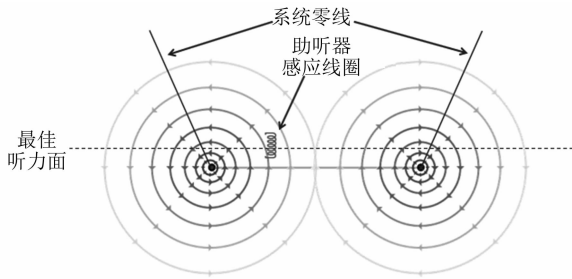


图5 音频感应环路最佳听力面

3 轨道交通列车乘客助听系统测试方法

轨道交通列车乘客助听系统(见图6)在实际布线前和最终型式试验验收时,通常需要对音频感应环路进行磁场仿真模拟和实际测试。其中,测试方法主要参考 IEC 60118-4 标准。

助听系统的测试仪器通常采用校准后的 XL2 音频分析仪和 CMR3 磁场信号接收器等。依据 IEC 60118-4 标准要求,助听系统的测试项点通常包括信噪比、频率响应、失真等。其中,信噪比是助听系

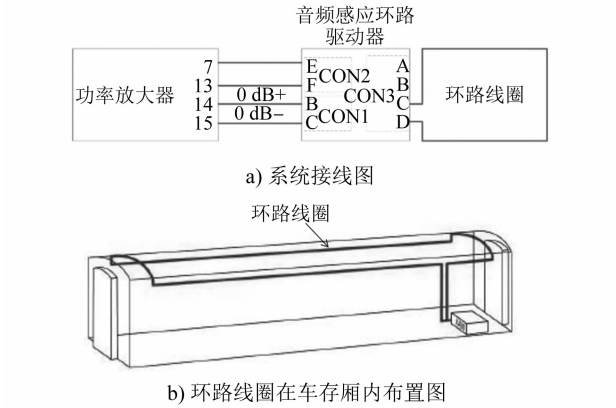


图 6 轨道交通列车乘客助听系统示意图

统最直观和最重要的性能指标。信噪比的计算需要先后测量助听系统关闭条件下的环境背景噪声和系统正常工作条件下的磁场强度。为实现换算,需参考场强、声压级(C_{SPL})以及均方根声压(C_{RMS})值的对应关系表(见表 1)。该关系表满足插值法。

表 1 场强、 C_{RMS} 、 C_{SPL} 值对应表		
场强/(mA/m)	C_{RMS} /dBu	C_{SPL} /dB
400.0	0	100
100.0	-12	88
32.0	-22	78
1.8	-47	53

根据音频分析仪测量的 C_{RMS} ,通过表 1 分别计算出对应的 C_{SPL} ,然后依据公式(3),即可计算出助听系统的信噪比。

$$S_{SNR} = C_{SPL, 正常工作} - C_{SPL, 背景噪声} \quad (3)$$

式中:

- S_{SNR} ——助听系统信噪比;
- $C_{SPL, 正常工作}$ ——助听系统正常工作时的声压级;
- $C_{SPL, 背景噪声}$ ——助听系统非工作状态时的背景噪声声压级。

磁场强度参照值相对于 A 计权背景噪声值的信噪比,在极端情况下最低容忍值为 22 dBu,一般建议大于 47 dBu。

4 结论

1) 相对于调频广播助听系统和红外助听系统,音频感应环路助听系统可以在一定空间内实现良好的助听效果,同时保护听障人士的隐私,是适用于轨道交通列车的最佳助听系统方案。

2) 在车载助听系统的设计过程中,需要根据覆盖区域的大小、形状,决定音频感应环路驱动器的输出功率;同时采用电磁仿真手段,评估空间内金属材料等产生的磁屏蔽现象。

3) 音频环路线圈的布置应保证产生的磁场与助听器接收线圈在垂直面内,这样助听器线圈可以接收 100% 的磁通量。

4) 音频感应环路线圈的布置位置应与最佳听力面保持一定高度差。在此听力面内,垂直听力面的磁场强度大小基本保持一致,乘客收听感受良好。

参考文献

[1] Australian National Standards Committee. Design for Access and Mobility Part 5: Communication for People Who are Deaf or Hearing Impaired; AS 1428. 5—2010R2016[S]. Sydney: Australian National Standards Committee, 2016: 14, 20-39.

[2] IEC. Hearing aids-Part 4: Magnetic Field Strength in Audio-Frequency Induction Loops for Hearing aid Purposes; IEC 60118-4[S]. Genève: IEC, 2014: 11-19.

[3] 马小玲,刘训,张思幸,等. 国内助听器的现状调研与发展分析[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2014(1): 39.

[4] 赵力,张听然,梁瑞宇,等. 数字助听器若干关键算法研究现状综述[J]. 数据采集与处理, 2015(2): 252.

[5] 贾伟,张玲华. 数字助听器中新的非线性响度补偿方法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2016(8): 256.

[6] DAWNA E L. Assistive Devices for Classroom Listening[J]. American Journal of Audiology, 1994, 3(1): 70-83.

[7] LESNER S A. Candidacy and management of assistive listening devices; special needs of the elderly[J]. International Journal of Audiology, 2003, 42(2): 68-76.

[8] JIN K, CHUN K. A Review of Assistive Listening Device and Digital Wireless Technology for Hearing Instruments[J]. Korean Journal of Audiology, 2014, 18(3): 105-110.

(收稿日期: 2019-09-11)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704